

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Teemu Lintunen

MUUNNOSSÄHKÖAUTON AKUSTON SUUNNITTELU

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Toukokuu 2017**  
**Sähkötekniikan koulutusohjelma**

Karjalankatu 3  
80220 JOENSUU  
013 260 600

Tekijä(t)  
Teemu Lintunen

Nimeke  
Muunnossähköauton akuston suunnittelu

Toimeksiantaja  
Karelia-amk

**Tiivistelmä**

Tämän opinnäytetyön aiheena oli tehdä alustavaa tutkimusta ja suunnitella Karelia-ammattikorkeakoulun Sirkkalan kampuksella rakennettavaan muunnossähköautoon akkujärjestelmä. Opinnäytetyössä käsitellään yleisesti akku- ja laturitekniikkaa.

Aluksi käsitellään erilaisia sähköautoissa käytettyjä ja käytettäviä akkuja sekä sähköautojen laturitekniikkaa. Lopuksi on pohdittu, millainen akkujärjestelmä muunnossähköautoon sopisi niin, että se täyttää työlle asetetut vaatimukset. Työssä käsitellään myös lataavaa jarrutusta ja sen tekniikkaa.

Muunnossähköautoon suunniteltiin kaksi 30 kWh:n litiumrautafosfaattiakustoa, joista toinen on ajoakusto ja toinen varavirta-akusto. Yksi akkupaketti koostuu kuudestakymmenestä litiumrautafosfaattikennosta. Latureiksi valittiin kolme kappaletta Powerfinn Oy:n valmistamia PAP3200-latureita.

Kieli

Sivuja 19

suomi

Liitteet

Asiasanat

muunnossähköauto, sähköauto, akku, laturi



**THESIS**  
**May 2017**  
**Degree Programme in Electrical Engineering**  
Karjalankatu 3  
80220 JOENSUU  
FINLAND  
013 260 600

Author (s)  
Teemu Lintunen

Title  
Battery design for electric car conversion

Commissioned by  
NKUAS and KUAS

Abstract

The subject of this thesis was to do a initial research and to plan a battery system for an electric car conversion built in Sirkkala campus at Karelia University of Applied Sciences. This thesis also deals with battery- and charger technology in a general level.

At first a variety of batteries that are used or have been used in electric cars, were studied. After this thesis looked at charger technology. Finally, it was studied, which kind of battery system fits in the car, so that it meets the requirements. The Thesis also deals with regenerative braking systems and its technology.

Two 30 kWh lithium iron phosphate batteries were planned in the electric vehicle conversion, so that one is for driving and the second one as a back-up battery. One battery consists of sixty lithium iron phosphate cells. As chargers were chosen three PAP-3200 chargers made by Powerfinn Oy.

Language

Pages 19

Finnish

Appendices

Keywords

electric vehicle conversion, electric car, battery, charger

# Sisältö

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>AKUSTO .....</b>	<b>5</b>
1.1	LYIJYAKKU .....	6
1.2	NIKKELIKADMIUMAKKU .....	7
1.3	NIKKELIMETALLIHYDRIDIAKKU .....	8
1.4	LITIUMIONIAKKU .....	9
1.5	LITIUMPOLYMEERIAKKU .....	10
1.6	LITIUM-HAPPI-AKKU .....	10
1.7	YHTEENVETO AKKUTYPEISTÄ .....	10
<b>3</b>	<b>LATURIT .....</b>	<b>11</b>
3.1	HAKKURITEHOLÄHDE .....	11
3.2	REGENEROIVA LATAUS .....	12
<b>4</b>	<b>SÄHKÖAUTON AKKUJÄRJESTELMÄ .....</b>	<b>14</b>
4.1	AKUT .....	14
4.2	AKUSTON SIOITTELU .....	15
4.3	LATURI .....	16
<b>5</b>	<b>AKUSTON LATAUS AJOSSA .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>POHDINTA .....</b>	<b>17</b>
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>19</b>

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä alustavaa tutkimusta ja suunnitella Karelia-ammattikorkeakoulun Sirkkalan kampuksella rakennettavaan muunnossähköautoon ja erityisesti sen akustoon. Työssä käsitellään sähköautoissa käytettäviä akkutyppejä sekä tulevaisuuden akkuvaihtoehtoja. Työssä mietitään myös akuston latausta ja laturilta vaadittuja ominaisuuksia. Lopuksi on pohdittu, millainen akkupaketti olisi sopivin kyseiseen muunnossähköautoon.

Autoon oli tarkoituksena tulla kaksi suurta akkupakettia, joista toista käytettäisiin ajoakkuna ja toista energiavarastona, jota voitaisiin käyttää esimerkiksi ajoakun lataamiseen tai josta voitaisiin tarvittaessa ottaa virtaa.

## 2 Akusto

Sähköautojen tärkein osa on niiden akusto. Sähköauton energiantarve on todella suuri ja se vaatii suuren akuston sitä varten. Akustoa suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon akkujen paino, sillä auton kokonaismassa ei saa ylittyä. Myös henkilöautojen koko on ratkaiseva tekijä akuston suunnittelussa, sillä tila on rajallinen.

Sähköauton toimintasäteen kannalta on siis tärkeää pitää akkupaketti mahdollisimman kevyenä, mutta niin, että siitä saadaan mahdollisimman paljon tehoa. Tästä syystä on tärkeää vertailla eri akkujen energiatiheyttä. Akkujen energiatiheys ilmaisee, kuinka monta wattituntia akusta voidaan ottaa tehoa tunnin ajan kiloa kohti. Akut, joilla on suurempi energitiheys, soveltuvat siis paremmin sähköautokäyttöön. Lyijyakun energiatiheys on noin 30–50 Wh/kg, kun taas litiumrautafosfaatti-akun energiatiheys on noin 90–120 Wh/kg. Tämä tarkoittaa, että teholtaan samankokoiseen akkupakettiin tarvittaisiin painoltaan noin 3-kertainen määrä lyijyakkuja kuin litiumrautafosfaatti-akkuja.

Toinen akuston tärkeä ominaisuus on niiden lataus. Akkujen ikää mitataan niiden lataussykleissä ja käyttöiässä. Sähköautokäytössä akkujen syklinen ikä tulee usein ensin vastaan. Jos akut ovat käyttämättöminä pitkiä ajan jaksoja, täyttyy niiden käyttöikä yleensä ensin. Sähköautoon kannattaa tämän takia vali-

ta akku, joka kestää tuhansia lataussyklejä. Toinen vertailtava kohde akkujen latauksessa on latauksen kesto. Akun latausnopeuteen vaikuttaa sen suuruus, eli kuinka paljon energiaa akku kykenee ottamaan vastaan. Toisena vaikuttavana asiana on akun materiaali. Litiumioniakun lataus vie huomattavasti lyhyemmän ajan kuin teholtaan samansuuruisen lyijyakun lataus.

Akuston suunnittelussa on myös otettava huomioon niiden turvallisuus. Akut eivät saa aiheuttaa vaaraa niiden käytön aikana. Akuston turvallisuudesta voidaan huolehtia erilaisilla sähköteknisillä turvalaitteilla, mutta myös akkutyypillä on väliä. Eri akkutyypit reagoivat eri tavalla ylilataukseen tai syväpurkuun. Akut eivät myöskään saa aiheuttaa vaaraa onnettomuustilanteissa räjähtämällä tai syttymällä palamaan.

Auton toiminnan kannalta on myös tärkeää, miten akut toimivat korkeissa ja alhaisissa lämpötiloissa. Lähes kaikki akkutyypit toimivat parhaiten huoneenlämmössä, mutta jotkut akut vaativat korkean lämpötilan toimiakseen, näistä esimerkkinä vanhemmat litiumpolymeeriakut. Useimmat akut eivät toimi hyvin alhaisessa lämpötilassa.

## 1.1 Lyijyakku

Lyijyakku keksittiin jo vuonna 1859. Se oli ensimmäinen kaupalliseen käyttöön otettu ladattava akku. Iästään huolimatta lyijyakku on edelleen käytössä esimerkiksi autojen käynnistysakkuna ja varavirranlähteinä keskeytymättömissä virransyöttöjärjestelmissä (UPS). Lyijyakku koostuu kahdesta lyijyelektrodista ja niitä yhdistävästä vedellä laimennetusta noin 37 %:n rikkihappoliuoksesta. Sen kennojännite on noin 2 V eli auton 12 V:n akku koostuu kuudesta sarjaan kytketystä kennosta. [1.]

Lyijyakun toiminta perustuu lyijyelektrodien ja rikkihapon väliseen kemialliseen reaktioon. Täydessä varauksessa olevassa akussa katodi on peittynyt lyijyoksidilla ja anodi on pelkkää lyijyä. Lyijyakkua käytettäessä rikkihappo alkaa hajota vedeksi ja rikiksi. Rikki siirtyy lyijyelektrodeille peittäen ne lyijysulfaattilla. Elektrolyytin rikkipitoisuuden pienentyessä akun jännitetaso laskee. Kun elektrodit ovat peittyneet lyijysulfaattiin ja elektrolyytti on pelkkää vettä, on akku tyhjä. Akkua ladattaessa reaktio on päinvastainen. [1;2.]

Lyijyakut jaetaan avoimiin ja suljettuihin akkuihin. Niiden pääasiallinen ero on, että avoimet lyijyakut vaativat huoltoa säännöllisin väliajoin ja suljetut akut ovat huoltovapaita. Akkua käytettäessä elektrolyytistä haihtuu pieni määrä vettä, jota tulee lisätä ajoittain. Suljetuista lyijyakuista eli VRLA-akuista on kahdenlaisia sovelluksia. Ensimmäinen on ns. lyijyhyytelöakku eli geeliakku. Siinä elektrolyytti on saatettu geelimäiseen tilaan lisäämällä siihen piioksidia. Toinen sovellus on ns. AGM-akku (Absorbent Glass Mat), jossa elektrolyytti on imeytetty lasikuitumattoon. [1.]

Lyijyakun hyvänä puolena on sen hinta ja toimintavarmuus. Sen raaka-aineet, rikki ja lyijy, ovat yleisiä ja akun valmistaminen on helppoa. Lyijyakulla on myös alhainen itsepurkautuminen. Lyijyn huonona puolena on se, että lyijy on todella raskas metalli. Tästä syystä lyijyakut ovat reilusti muita akkuja raskaampia. Koska sähköauton toimintasäteeseen vaikuttaa suuresti auton massa, eivät lyijyakut sovellu sähköautokäyttöön. Lyijyakun suuren massa takia myös sen energiatiheys [Wh/kg] on matala. Akkua on myös hidasta ladata ja sen syklinen käyttöikä on lyhyt, mikä haittaa sähköautokäyttöä. Lyijyakku soveltuu parhaiten laitteisiin, joissa tarvitaan suurta tehoa ja akun paino ei ole ongelma. Lyijy on ympäristölle haitallinen aine, joten akut tulee kierrättää huolellisesti. [1.]

## **1.2 Nikkelikadmiumakku**

Nikkelikadmiumakun keksi Waldemar Jungner vuonna 1899. Se tarjosi joitain etuuksia verrattuna lyijyakkuun, mutta sen materiaalit olivat kalliita. Sen positiivinen napa on valmistettu nikkelihydroksidista ja negatiivinen napa kadmiumista. Elektrolyytinä toimii kaliumhydroksidiliuos. Lyijyakun tavoin akun toiminta perustuu kemialliseen reaktioon. Nikkelikadmiumakun kennojännite on alhainen 1,2 V. [3.]

Nikkelikadmiumakun hyvänä puolena on sen kestoikä. Se kestää noin 1500 latauskertaa. Nikkelikadmiumakulla on suuri virranantokyky ja se antaa hyvin virtaa myös pakkasella. Hetkellisesti akku pystyy antamaan todella suuria virtapulsseja alhaisen sisäisen resistanssin ansiosta. Tästä syystä akkua käytetään paljon virtaa tarvitsevilla työkaluilla, kuten porakoneilla. Nikkelikadmiumakku kestää muita akkutyppejä paremmin väärinkäyttöä, kuten ylilatausta ja syväpurkausta. Akkua ei suositella lataamaan alhaisissa lämpötiloissa, sillä se kehit-

tää kaasuja, jotka aiheuttavat painetta kennon sisällä. Kuumassa, yli 45 °C:n lämpötilassa, akku ei enää lataudu täyteen kapasiteettinsa. Sen etuina on myös pikalatausmahdollisuus. [3.]

Nikkelikadmiumakkujen huonona puolena on niiden suuri itsepurkaantuminen sekä muisti-ilmiö. Jos akkua ei säännöllisin väliajoin pureta täysin tyhjäksi ja ladata täyteen, akun kapasiteetti alenee käytettyyn määrään. Vaikka akun energiatiheys onkin lyijyakkua parempi, ei se silti pärjää nykyisille markkinoilla olevilla akuille. Nikkelikadmiumakut ovat ympäristölle kaikkein vaarallisimpia, sillä kadmium on jo pieninä määrinä erittäin haitallista. [3.]

### **1.3 Nikkelimetallihydridiakku**

Nikkelimetallihydridiakun tutkimustyö alkoi jo 1967, mutta metallihydridin epävakaus johti nikkelihydridiakun kehitykseen. 1980-luvulla keksityt uudet hydridiseokset korjasivat aikaisemmat epävakausongelmat. Nikkelimetallihydridiakussa myrkyllinen kadmium on korvattu metallihydridillä. Samoin kuin nikkelikadmiumakussa kennojännite on 1,2 V. Nikkelimetallihydridiakut ovat suosittuja hybridautoissa. [3.]

Nikkelimetallihydridiakulla on suurempi kapasiteetti kuin nikkelikadmiumakulla, mutta sen käyttöikä on lyhempi. Myös nikkelimetallihydridiakussa ilmenee myös muisti-ilmiötä, mutta vähemmän kuin edeltäjässään. Muisti-ilmiön vähentämiseksi akkua suositellaan purkamaan tyhjäksi kerran kuussa. [3.]

Akun lataaminen on hankalampaa kuin nikkelikadmiumakulla, sillä se ei siedä ylilatausta niin hyvin. Myös syväpurku vaikuttaa akun ikään suuremmin kuin nikkelikadmiumakussa. Nikkelimetallihydridiakku lämpenee ladattaessa ja ei lataudu yhtä nopeasti kuin nikkelikadmiumakku. Akun suurin ongelma on kuitenkin sen suuri itsepurkaantuminen. Akku tyhjenee sen maksimikapasiteetista noin 20 % ensimmäisen vuorokauden aikana. Nikkelimetallihydridiakkua ei saisi, nikkelikadmiumakun tavoin, ladata alle 0 °C:n lämpötilassa sillä se aiheuttaa kennoon painetta. Nikkelimetallihydridiakut ovat myös kalliimpia kuin nikkelikadmium- tai lyijyakut. [3.]



## 1.4 Litiumioniakku

Ensimmäiset ei-ladattavat litiumakut tulivat markkinoille 1970-luvun alussa. 1980-luvulla yritettiin valmistaa ensimmäiset ladattavat litiumakut, mutta nämä epäonnistuivat litiumin luonnollisen epävakauden takia. Tästä syystä siirryttiin käyttämään anodina vakaampaa litiumionia. Litiumioniakku käyttää yleensä anodimateriaalina litium-metallin sijaan grafiittia. Akun tyyppi vaihtelee katodimateriaalin mukaan. Litiumioniakut ovat yleisimpiä sähköautoissa käytetyistä akuista. Litium on kaikista metalleista kevyin, sillä on suuri elektrokemiallinen potentiaali ja sen takia suuri energiatiheys. [4;5.]

Litiumionin etuna muihin akkuihin on sen suuri kennojännite, joka on 3.6 V. Tämä vähentää tarvittavien kennojen määrää sähköautossa. Muuttamalla aktiivisia materiaaleja ja elektrolyyttiä on mahdollista vielä kasvattaa jännitettä. Litiumioniakku on huoltovapaa akku ja se ei kärsi muisti-ilmiöstä, kuten nikkelipohjaiset akut. Myös sen itsepurkaantuminen on alhainen verrattuna nikkelipohjaisiin akkuihin. Litiumioniakut ovat suhteellisen nopeita ladata, minkä takia ne soveltuvat hyvin sähköautokäyttöön. [4;5.]

Litiumioniakkujen haittapuolena on niiden epävakaus. Ne ovat erittäin herkkiä yli- ja alijännitteille, ja tarvitsevat aina akustonhallintajärjestelmän suojaamaan niitä. Ylilatauksessa akku muuttuu epävakaaksi ja kehittää lämpöä ja painetta, minkä seurauksena akku saattaa syttyä palamaan tai räjähtää. Akustonhallintajärjestelmä valvoo myös akkujen lämpötilaa. Litiumioniakkujen käyttöikä on myös rajallinen, sillä ne menettävät osan kapasiteetistaan, vaikka niitä ei käytettäisi. Litiumioniakkuja tulisi ladata 0-45 °C:n lämpötilassa. Akkujen huonona puolena on myös niiden hinta, sillä akkujen valmistus on hankalaa. Litiumioniakkujen hinta on kuitenkin laskenut viime vuosina. Akuston hankinnassa tulee ottaa myös huomioon tarvittavan akustonhallintajärjestelmän hinta. [4;5.]

Sähköautoissa yleisimmin käytettyjä akkuja ovat litiumrautafosfaattiakut. Niiden suurimpina etuina muihin akkutyyppeihin sähköauto käytössä ovat niiden pitkä elinikä ja turvallisuus. LiFePo<sub>4</sub>-akut ovat myös edullisempia kuin esimerkiksi litiumpolymeeriakut. Niiden energiatiheys on noin 120 Wh/kg ja kennojännite 3.2 V. Litiumrautafosfaattiakut tarvitsevat aina BMS-järjestelmän valvomaan

akun tilaa ja tasaamaan niiden kennojännitettä, mikä nostaa akuston hankintahintaa. [6.]

### **1.5 Litiumpolymeeriakku**

Litiumpolymeeriakku eroaa muista akkutyypeistä elektrolyyttinsä ansiosta. Siinä tavallisen nestemäisen elektrolyytin sijaan käytetään geeli- tai polymeerielektrolyyttiä. Nestemäisen elektrolyytin korvaaminen kiinteällä polymeerillä tekee akustosta turvallisemman sähköauto-onnettomuuksissa. Tämä akkutyyppi soveltuu parhaiten sovelluksiin, jossa vaaditaan korkeaa tehotiheyttä ja joustavaa muotoilua. Litiumpolymeeriakulla on myös korkeampi energiatiheys kuin litiumioni-akulla. Kiinteällä polymeerillä on kuitenkin todella huono sähkönjohtavuus huoneenlämmössä ja akut tulee lämmittää vähintään 60 asteeseen, jotta sähkö kulkee paremmin. Nykyisissä litiumpolymeeriakuissa on lisätty geelimäistä elektrolyyttiä, joka mahdollistaa sähkönjohtavuuden huoneenlämmössä. Litiumpolymeeriakkujen lataus ja purku tapahtuvat samalla tavalla kuin tavallisessa litiumioni-akussa. [4;7.]

### **1.6 Litium-happi-akku**

Englannissa, Cambridgen-yliopistossa, on kehitetty prototyyppi litium-happi-akusta. Akun pitäisi pystyä korjaamaan akkutekniikan suurimmat ongelmat sähköauto käytössä, eli kalliin hinnan ja lyhyen toimintasäteen. Akku tulisi olemaan paljon pienempi kuin nykyiset litiumioni-akut ja sen energiatiheys saattaisi olla jopa 10-kertainen litiumioni-akkuihin. Myös akun hinta olisi halvempi. Tällä hetkellä ongelmia aiheuttaa akun lataus ja purkaminen. Myös puhtaan hapen saatavuus on ongelmana. [8;9.]

### **1.7 Yhteenveto akkutyypeistä**

Markkinoilta löytyy tänä päivänä useita erilaisia akkuja, joista nykyään vain muutamia on käytössä sähköautoissa. Lyijyakkuja on käytetty aikaisemmin mm. General Motorsin valmistamassa EV-1 sähköautossa, mutta lyijyakun huono energiatiheys rajoittaa sen käyttöä sähköautoissa. Koska energiatiheys on ehkä akkujen tärkein ominaisuus sähköautokäytössä, se rajoittaa täyssähköautoissa käytetyt akut litium-pohjaisiin. Yleisimpiä sähköautoissa käytettyjä akkuja ovat

litiumrauta-fosfaattiakku sekä litiumpolymeeriakku. Nikkelipohjaisista akuista etenkin nikkelimetallihydridiakkuja käytetään hybridautoissa, niiden pitkän käyttöiän ja tehokkuuden takia.

### **3 Laturit**

Laturin perusperiaate on ottaa sähköä verkosta ja muokata se akuille sopivaksi. Laturin täytyy olla yhteensopiva auton akuston kanssa. Yleensä sähköautoissa käytettävät laturit toimivat hakkuriperiaatteella, jolla saavutetaan korkea hyötysuhde, matala hukateho, pieni koko ja niitä voidaan soveltaa sekä vaihdettavaksi tasasähköllä. [10.]

Laturien valinnassa tulee huomioida ladattava akkutyyppe, sillä useimmat laturit sopivat vain tietyille akkutyypeille. Sähköauton akustot ovat kalliita, joten niiden lataaminen kannattaa hoitaa huolella mahdollistaakseen mahdollisimman pitkän eliniän. Jos akku ja laturi eivät ole yhteensopivia, se voi vahingoittaa sekä akkua että laturia. [10.]

Laturia valittaessa tulee ottaa myös huomioon ladattavan akun tai akkujen jännite. Liian suuri latausjännite saa aikaan akkujen lämpenemisen, kun taas liian pieni latausjännite ei lataa akkuja kunnolla. [10.]

#### **3.1 Hakkuriteholähde**

Hakkuriteholähde on hyvin yleinen jännitemuuntaja. Sitä käytetään sähköauton lisäksi mm. radiossa, televisiossa ja tulostimessa. Se perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Energia syötetään ensin kelan magneettikenttään, josta se puretaan muuntimeen katkaisemalla ensiövirta. Energiaa katkotaan halutun ulostulojännitteen saamiseksi. Ulostulojännite voi olla suurempi tai pienempi, kuin lähdejännite. Ensiövirtaa katkotaan nopeaan tahtiin, jolloin kela toimii samalla tavalla kuin suurtaajuinen muuntaja. Tällä tavalla saadaan jopa satoja kilohertsejä taajuudeltaan olevaa vaihtosähköä, joka muunnetaan muuntajalla ja tasasuuntauksella sopivaksi käyttöjännitteeksi. [11;12.]

Hakkuri koostuu yksinkertaistettuna kelasta, kondensaattorista, kytkinkomponentista, ohjauselektronikasta ja diodista. Hakkurin suurin etu on sen hyö-

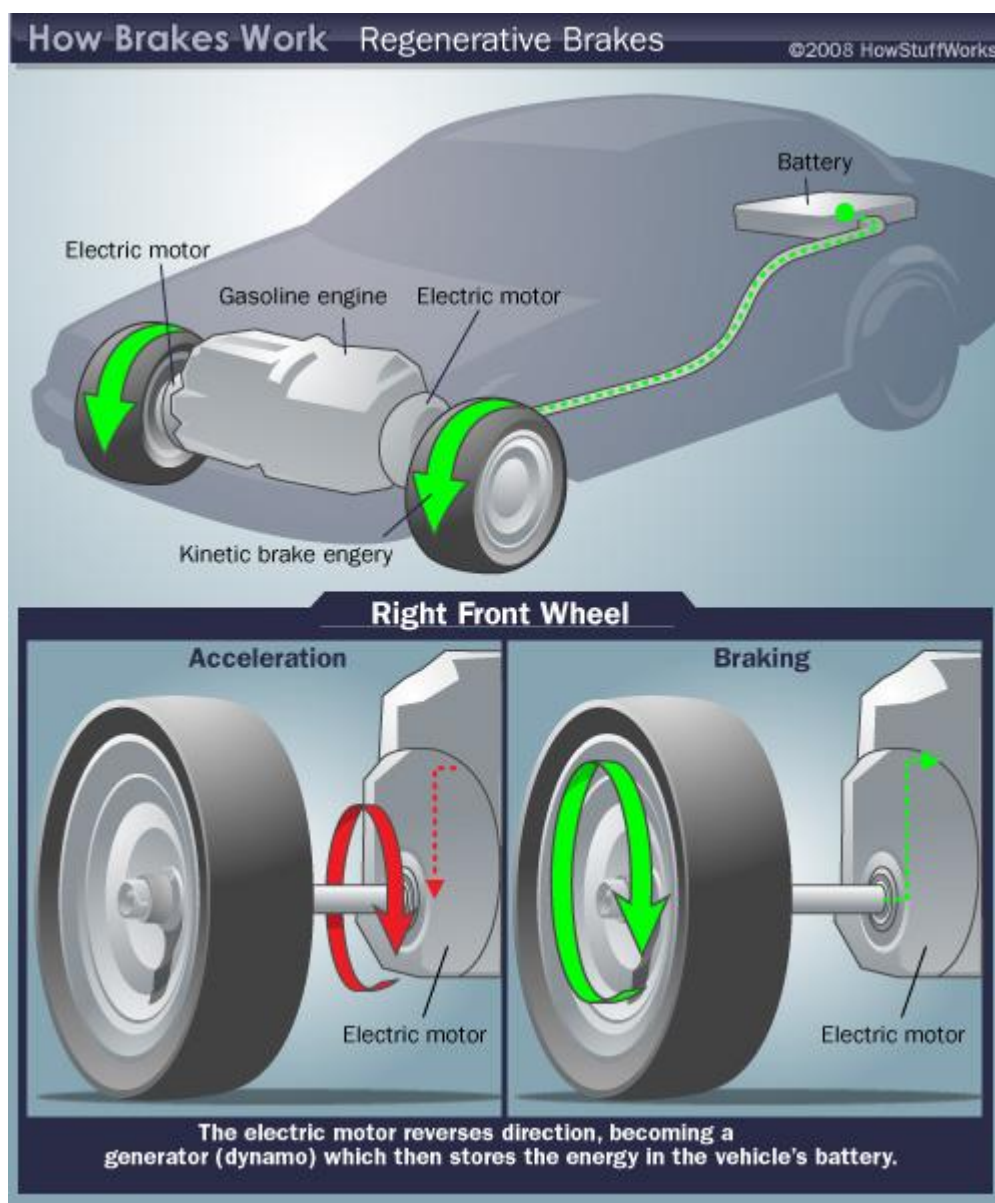
tysuhde. Muita hyviä ominaisuuksia ovat pieni koko ja paino. Vastaavasti huonoja ominaisuuksia ovat sen monimutkainen rakenne sekä mahdolliset sähköiset- ja radiotaajuiset häiriöt. [12.]

### 3.2 Regeneroiva lataus

Energian säilymislain mukaan energia ei koskaan häviä, vaan se muuttaa muotoaan. Esimerkiksi autolla jarruttaessa auton liike-energia ei häviä kokonaan vaan se muuttuu lähinnä lämpöenergiaksi ja haihtuu ilmaan. Tätä energiaa voidaan muuntaa sähköenergiaksi ja kerätä sitä talteen esimerkiksi akkuihin tai kondensaattoreihin. Tätä kutsutaan jarruenergian talteenotoksi. Tällaista järjestelmää käytetään lähinnä hybridi- ja sähköautoissa. Keräämällä energiaa jarrutuksesta voidaan sähköauton toimintasädetä pidentää jopa kymmenillä kilometreillä, riippuen ajosta. Lataava jarrutusjärjestelmä on hyödyllisin kaupunkiajossa, jossa tapahtuu paljon kiihdytyksiä ja jarrutuksia. [13.]

Perinteisissä jarrutusjärjestelmissä jarrupalat tuottavat kitkaa jarrulevyjen kanssa ja näin hidastavat autoa. Lataavassa jarrutusjärjestelmässä järjestelmä tekee suurimman osan jarrutuksesta. Jalkaa nostettaessa kaasupolkimelta sähkömoottori alkaa hidastaa autoa. Samalla moottori toimii generaattorina muuttaen mekaanisen energian sähköenergiaksi (Kuva 1). Tämä energia voidaan johtaa suoraan akustoon, mutta akkujen jännitteen tai virran vastaanottokyky rajoittaa jarruenergian talteen ottamista. Siksi jarruenergia on viisainta varastoida ensin superkondensaattoreihin, sillä ne pystyvät vastaanottamaan energiaa paljon ja nopeasti. Jarrutusenergian talteenotto ei korvaa auton jarruja vaan sitä käytetään tavallisten jarrujen rinnalla. [13.]

Lataavan jarrutuksen energian saantiin vaikuttaa se; miten ja missä ajetaan. Mutta suurimpana ongelmana energian keräämiselle ovat ilmanvastuksesta, renkaiden vierimäkitkasta sekä voimansiirtojärjestelmästä aiheutuvat häviöt. Energiasta pystytään teoriassa palauttamaan noin 64%, mutta käytännössä jäädään paljon sen alle. [14.]



Kuva 1. Lataavan jarrutuksen toimintaperiaate [14.]

Akkujen toiminta perustuu kahden eri metallin kemiallisiin ominaisuuksiin. Kondensaattorit puolestaan varastoivat ioneita elektrodihinsa, jolloin ne pystyvät varastoimaan energiaa huomattavasti nopeammin kuin akut. Superkondensaattorilla on sama toimintaperiaate kuin tavallisella kondensaattorilla. Tavalliseen kondensaattoriin verrattuna superkondensaattori pystyy varastoimaan suuremman määrän energiaa. Yleisesti superkondensaattorit ovat siis tavallisia kondensaattoreita, joiden elektrodien pinta-alaa on kasvatettu suuremman kapasiteetin saamiseksi. [15;16]

Superkondensaattoreissa elektrodien välimatkaa on lyhennetty, jolloin niitä mahtuu useampia samaan tilaan. Metallilevyjen määrän kasvaessa, niiden pinta-ala kasvaa myös. Mitä suurempi pinta-ala elektrodeilla on, sitä enemmän energiaa niihin voidaan varastoida. Tällä on myös haittansa, sillä kun metallilevyjen välimatka lyhenee se myös vähentää kondensaattoreiden jännitekestoisuutta. Superkondensaattorin jännitekestoisuus ei ole niin hyvä kuin tavallisella kondensaattorilla. Tätä voidaan kuitenkin parantaa asettamalla superkondensaattoreita sarjaan. [15.]

## **4 Sähköauton akkujärjestelmä**

### **4.1 Akut**

Sähköauton akustolta vaaditaan suurta energiatiheyttä, pitkää käyttöikää ja hyvää suorituskykyä myös talvella. Tämän lisäksi akustoa tulee pystyä lataamaan mahdollisimman nopeasti ja akuston latauksen ja käytön tulee olla turvallista.

Muunnossähköauton ajoakustoksi suunniteltiin noin 30 kWh:n kokoista akkupakettia. Ajoakuston lisäksi autoon rakennetaan samankokoinen varavirta-akusto, jota voidaan käyttää esimerkiksi ajoakuston lataamiseen tai tarvittaessa ottaa virtaa esimerkiksi erilaisissa tapahtumissa. Yksi akkupaketti koostuu kuudestakymmenestä 160 Ah:n litiumrautafosfaattikennosta.

Ajoakuiksi valittiin Winston Battery'n LiFePO<sub>4</sub>-kennot (Kuva 2). Kennojen nimellisjännite on 3.2 V ja koko akuston jännitteeksi tulee 192 V. Yksittäisen kennon paino on 5.8 kg jolloin akkupaketin painoksi tulee 348 kg. Yhteensä siis ajoakustolle ja varavirta-akustolle tulee painoa 696 kg. Yhden kennon nimellinen energia on 512 Wh ja akuston energiatiheys on 89.8 Wh/kg. Yhden akkupaketin kokonaisenergiaksi tulee noin 30 kWh. Litiumrautafosfaatin suurimpina etuina muihin litiumioniakkuihin ovat sen vähäinen itsepurkautuminen ja turvallisuus.



Kuva 2. Winston Battery Oy:n LiFePO4-akku [17.]

## 4.2 Akuston sijoittelu

Akuston sijoituksella voidaan vaikuttaa pitkälti auton turvallisuuteen. Yleensä muunnossähköautoissa akusto on sijoitettu takakonttiin. Henkilöautojen sähköautomuunnoksissa joudutaan yleensä poistamaan takapenkit, jotta akustolle saadaan tilaa auton takaosaan. Karelia-ammattikorkeakoulun sähköautomuunnos toteutetaan pakettiautoon, joten akusto on viisainta sijoittaa tavaratilaan. Akuston sijoituksessa on otettava huomioon, jotta yksittäisen akselin sallittu akselimassa ei ylitä. Akut tulee siis sijoittaa tasaisesti auton takatilaan.

Akustolle tulee rakentaa tukeva kotelo, joka suojaa akustoa myös ylimääräiseltä lialta. Kotelo tulisi rakentaa niin, jotta kotelo ei pääse muuttamaan muotoaan eikä akusto pääse liikkumaan kolaritilanteissa ja aiheuttamaan vaaraa. Viisainta on kiinnittää sekä akusto, että kotelo suoraan auton runkoon, jolloin akusto ei

pääse aiheuttamaan vaaratilanteita liikkumalla. Akuston kiinnittäminen vähentää myös akuston tärinää, joka saattaa vaurioittaa akustoa. Akusto tulee kuitenkin pystyä myös vaihtamaan, sillä akusto kuluu käytössä.

Kuten aiemmin mainittiin, LiFePO<sub>4</sub>-akkuja ei pysty lataamaan alle 0 °C:n lämpötilassa. Talvella akkujen lämmittäminen on tarpeellista ennen latausta, jotta akut pystyvät vastaanottamaan energiaa. Akkujen lämmittäminen onnistuu esimerkiksi sähkövastusten avulla. Latauksen aikana kennojen sisäinen resistanssi aiheuttaa myös hieman hukkalämpöä, joka aiheuttaa akuston lämpenemistä.

### **4.3 Laturi**

Lähtökohtana työhön oli, että akustoa voidaan ladata sekä 1-vaiheisena, että 3-vaiheisena missä tahansa. Koska akusto on suuri, on tärkeää, että kolmivaiheinen lataaminen on mahdollista. Akuston latureiksi sopisi 3x Powerfinn Oy:n valmistamia PAP3200 – latureita. PAP-sarjan laturit ovat tehokkaita ja kevyitä. Ne käyttävät hakkuritekniikkaa ja kaikkia sarjan laitteita voidaan käyttää virranlähteenä tai akkujen lataamiseen. Laturin hyötysuhde on täydellä kuormalla ladataessa 89% ja puolella kuormalla yli 90%.

Suomessa suurin osa yksivaihe pistorasioista on suojattu 16 A:n sulakkeella. Tällöin yhden 30 kWh akkupaketin lataukseen menee yksivaiheisena noin 8 tuntia.



## Specifications

Input voltage	70...264Vac 1-phase ( 70...230Vac, reduced power )
Efficiency	70...369Vdc
Input current	89% at full load, >90% at 50% load ( 230Vac input )
Frequency	16A ( max)
Power factor	47–63Hz
Inrush current	>0.98
Output ripple	soft start
	<1%rms from maximum output voltage (1MHz bandwidth)
	In S and T versions the resolution is defined by an 8-bit A/D converter of a microcontroller. Measured using nominal output voltage.
Mechanics	Wall mounting, see dimensions p. 3
Connectors	Input power cord
Input	Models 12V, 24V, 36V, 48V, copper busbar terminals
Output	Models 72V, 110V, 160V, 220V, 280V, 10mm <sup>2</sup> 3m output cables
Enclosure	Aluminum case, IP20
Weight	7.1 kg without cables
Output Grounding	Floating
Ambient temperature range	0°C...+40°C at full load, abs. max. +55°C
Overtemperature protection	Processor controlled on/off
Overcurrent protection	Electrical current limit
Reverse polarity protection	With fuse ( 12VDC version doesn't have fuse )

Kuva 3 Laturin tekniset tiedot

## 5 Akuston lataus ajossa

Ajossa tulee huolehtia, että sekä ajoakun, että käyttöakun varaustila ei pääse laskemaan liian alhaiseksi. Aikaisemmin kerroin kuinka ajoakuston lataaminen onnistuu ajossa lataavan jarrutuksen avulla. Myös käyttöakkua tulee ladata ajossa, sillä se huolehtii auton omista laitteista ja ajoneuvon logiikasta.

Polttomoottoriautoissa käyttöakkua lataa auton laturi, mutta sähköautoissa käyttöakkua ei lataa mikään erillinen laite. Siksi käyttöakun tulee olla koko ajan latauksessa. Käyttöakun lataus ajossa tapahtuu ajoakustosta DC/DC-muuntimien avulla.

## 6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli pohtia muunnossähköautoon mahdollisia akku- vaihtoehtoja ja suunnitella sopivaa ratkaisua, joka mahdollistaisi turvallisen ja

mahdollisimman pitkän ajomatkan. Työ toteutettiin perehtymällä netistä löydettyyn materiaaliin aiheesta.

Työ kesti odotettua pidempään, mutta sain mielestäni lopulta kasaan hyvin tietoa aiheesta. Perehdyin erityisesti akkutekniikkaan, ja sain hyvin tietoa erilaisista akku vaihtoehtoista ja niiden hyvistä ja huonoista puolista. Työ onnistui ja asetetut tavoitteet täyttivät hyvin omasta mielestäni.

Eniten ongelmia työssä aiheutti oma vähäinen tietämys sähköautojen tekniikasta ja niiden toiminnasta. Tämä vaikeutti luetun ymmärtämistä joissain tilanteissa. Myös osa netistä löydetyistä tiedosta oli jo vanhentunutta, sillä akkutekniikkaan panostetaan nykyään paljon ja se menee kovaa vauhtia eteenpäin. Työn aikana opin paljon sähköautoissa käytettävistä tekniikoista ja erityisesti akkuvaihtoehtoista. Yksittäisten litiumrautafosfaattikennojen hinta pyörii noin 200 eurossa, mutta isommissa tilauksissa kappalehintaa käsitellään erikseen toimittajan kanssa. Tämän takia akuston kokonaishinta jäi selvittämättä.

## Lähteet

1. Battery University. How does the Lead Acid Battery Work? 2011.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/lead\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/lead_based_batteries). 6.1.2017
2. Battery University. How Do Lead Acid Batteries Work? 2014.  
[http://www.progressivedyn.com/battery\\_basics.html](http://www.progressivedyn.com/battery_basics.html). 6.1.2017
3. Battery University. Nickel-based Batteries. 2011.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/nickel\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries).  
12.1.2017
4. Battery University. Is Lithium-ion the Ideal Battery? 2010.  
[http://batteryuniversity.com/learn/archive/is\\_lithium\\_ion\\_the\\_ideal\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery). 15.1.2017
5. Battery University. How do Lithium Batteries Work? 2011.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium\\_based\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries).  
15.1.2017
6. Battery University. Types of Lithium-ion. 2011.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion). 15.1.2017
7. Battery University. Lithium-polymer: Substance or Hype? 2010.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/the\\_li\\_polymer\\_battery\\_substance\\_or\\_hype](http://batteryuniversity.com/learn/article/the_li_polymer_battery_substance_or_hype). 16.1.2017
8. HS.fi nettisivut. 2015.  
<http://www.hs.fi/autot/art-2000002863783.html>. 17.1.2017
9. Battery University. Future Batteries. 2011.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/experimental\\_rechargeable\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/experimental_rechargeable_batteries). 17.1.2017
10. Battery University. How do Battery Chargers Work? 2011.  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/all\\_about\\_chargers](http://batteryuniversity.com/learn/article/all_about_chargers). 1.2.2017
11. kompo2010. Hakkuriteholähde. 2010.  
<https://kompo2010.wikispaces.com/Hakkuritehol%C3%A4hde>. 12.2.2017
12. Wikipedia. Hakkuriteholähde. 2015.  
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Hakkuritehol%C3%A4hde>. 12.2.2017
13. How Stuff Works. How Regenerative Braking Works  
<http://auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-types/regenerative-braking.htm>. 2.3.2017

14. The Magic of Tesla Roadster Regenerative Braking. 2007.  
[https://www.tesla.com/da\\_DK/blog/magic-tesla-roadster-regenerative-braking](https://www.tesla.com/da_DK/blog/magic-tesla-roadster-regenerative-braking). 21.4.2017
15. Maxwell Technologies inc.  
<http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors>. 21.4.2017
16. BU-209: How does a Supercapacitor Work?  
[http://batteryuniversity.com/learn/article/whats\\_the\\_role\\_of\\_the\\_superca](http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_superca)  
pacitor. 21.4.2017
17. ev-power.eu:n verkkosivut.  
<https://www.ev-power.eu/Winston-40Ah-200Ah/WB-LYP160AHA-LiFeYPO4-3-2V-160Ah.html>. 28.5.2017